

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP

Departamento de Engenharia de Minas

ISSN 0104-0553

BT/PMI/071

O Estado da Arte da Cianetação de Minérios Auríferos

**Roberto Goulart Madeira
Eduardo Camilher Damasceno**

São Paulo - 1997

O presente trabalho é parte da dissertação de mestrado apresentada por Roberto Goulart Madeira, sob a orientação do Prof. Dr. Eduardo Camilher Damasceno "O Estado da Arte da Cianetação de Minérios Auríferos", defendida em 20/10/97.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição dos interessados com o autor e na Biblioteca do Depto. de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da USP.

Madeira, Roberto Goulart

O estado da arte da cianetação de minérios auríferos / R.G. Madeira, E.C. Damasceno. -- São Paulo : EPUSP, 1997.

19 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI/071)

1. Minérios de ouro 2. Minérios - Cianetação 3. Hidrometalurgia 4. Minérios - Processamento I. Damasceno, Eduardo Camilher II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas III. Título IV. Série
ISSN 0104-0553

CDU 622.342
622.775
669.053.4
622.7

ROBERTO GOULART MADEIRA
EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

**O ESTADO DA ARTE DA CIANETAÇÃO DE
MINÉRIOS AURÍFEROS**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia

SÃO PAULO
1997

RESUMO

Neste trabalho é apresentada uma revisão do estado da arte da cianetação de minérios auríferos, em que o Autor mostra a evolução e as principais aplicações dos diversos processos de cianetação adequados a diferentes tipos de minérios.

Apresentam-se as reservas de minérios auríferos e sua produção no Brasil e no mundo, considerações sobre o beneficiamento de minérios auríferos, processos de cianetação e de recuperação de ouro, e suas aplicações.

Em seguida são abordadas as rotas de beneficiamento para os minérios refratários e complexos, como caracterizá-los com auxílio dos testes de diagnóstico de lixiviação “diagnostic leaching”.

SUMÁRIO

RESUMO

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. RESERVAS E PRODUÇÃO MUNDIAL DE OURO	2
2.1. RECURSOS E RESERVAS BRASILEIRAS DE MINÉRIOS AURÍFEROS	2
2.2. PRODUÇÃO MUNDIAL DE OURO	3
2.3. PRODUÇÃO DE OURO NO BRASIL	3
3. CONSIDERAÇÕES SOBRE O BENEFICIAMENTO DE MINÉRIOS AURÍFEROS.....	4
4. PROCESSOS DE CIANETAÇÃO DE MINÉRIOS AURÍFEROS.....	6
4.1. CIANETAÇÃO COM AGITAÇÃO DA POLPA	6
4.2. LIXIVIAÇÃO EM PILHA (“HEAP LEACHING” - HL).....	6
4.2.1. <i>Lixiviação em monte (“Dump Leaching”)</i>	7
4.3. CIANETAÇÃO INTENSIVA	7
4.4. LIXIVIAÇÃO EM TANQUES SEM AGITAÇÃO (“VAT LEACHING”)	8
4.5. LIXIVIAÇÃO “IN SITU”	8
5. PROCESSOS DE RECUPERAÇÃO DO OURO CIANETADO	9
5.1. MERRILL-CROWE.....	9
5.2. CARBON IN PULP (CIP)	10
5.3. CARBON IN LEACHING (CIL).....	10
5.4. CARBON IN COLUMN (CIC).....	11
5.5. RESIN IN PULP (RIP)	11
5.6. FLOTAÇÃO IÔNICA DOS COMPLEXOS AURO-CIANETO	11
6. BENEFICIAMENTO DE MINÉRIOS REFRATÁRIOS À CIANETAÇÃO	13
7. CONCLUSÕES.....	15
8. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	16
9. LISTA DE TABELAS.....	19
10. LISTA DE FIGURAS.....	19

1. Introdução

O estado da arte da cianetação de minérios auríferos é apresentado neste trabalho desde a descoberta do emprego do cianeto na produção do ouro. Define-se como cianetação do ouro o fenômeno de partículas finas de ouro contidas nos minérios auríferos, serem solubilizados em solução alcalina de cianeto de sódio ou de potássio, normalmente, na concentração de 300 a 800 ppm e pH entre 10 a 11.

Apesar do homem ter descoberto o ouro há 6000 anos atrás, sua produção se intensificou nos últimos 100 anos totalizando cerca de 80.000 t.

A descoberta de novas tecnologias e o preço de mercado, aliado à demanda, têm permitido o aumento de produção.

Sem dúvida alguma, o advento do emprego do cianeto no beneficiamento de certos minérios auríferos, contribuiu sobremaneira para a maior e melhor recuperação deste metal.

O Autor se propõe a apresentar o estado da arte da cianetação, bem como, abordar: as reservas de minérios auríferos e sua produção no Brasil e no mundo, considerações sobre o beneficiamento de minérios auríferos, processos de cianetação e de recuperação de ouro, e suas aplicações.

Em seguida são abordadas as rotas de beneficiamento para os minérios refratários e complexos, como caracterizá-los com auxílio dos testes de diagnóstico de lixiviação “diagnostic leaching”.

2. Reservas e Produção Mundial de Ouro

2.1. Recursos e reservas brasileiras de minérios auríferos

Os recursos totais estimados de ouro metálico no Brasil superam 30.000 t, das quais, aproximadamente, 750 t correspondem a reservas definidas. Estudo realizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, no início da década passada, concluiu pela existência de recursos da ordem de 33.297 t de metal, sendo 763 t reserva definida, 12.186 t reserva geológica e 20.384 t reserva potencial (61%) (1).

As regiões Norte e Centro-Oeste apresentam a maior potencialidade, encerrando 70% das estimativas totais. Em termos de reserva definida, as regiões Sudeste e Nordeste do país dispõem, respectivamente, de 46% e 22% dessa categoria (2).

Tabela 2-1 - Principais países produtores de ouro (ano de 1995)

Classif.	País	Produção 1994 (t)	Produção 1995 (t)	Variação Prod. (rel. 1994) %
1º	África do Sul	583.9	522.4	(-10,5%)
2º	Estados Unidos	326.0	329.3	1,0%
3º	Austrália	254.9	253.5	(-0,5%)
4º	Canadá	146.4	150.3	2,7%
5º	Rússia	158.1	142.1	(-10,1%)
6º	China	124.1	136.4	9,9%
7º	Indonésia	55.3	74.1	34,0%
8º	Brasil	73.4	67.4	(-8,2%)
9º	Ubequistão	64.4	63.6	(-1,2%)
10º	Papua N Guiné	60.5	54.8	(-9,4%)
11º	Gana	44.5	52.2	17,2%

Fonte : Fonte : Adaptado do Gold 1996 (3).

2.2. Produção mundial de ouro

A produção mundial de ouro em 1995, foi de 2.272 t, apresentando um decréscimo de 8 t (-0,4%) sobre o nível de 1994. A razão dessa queda foi a África do Sul, que deixou de produzir 60 t. A da América do Norte apresentou um pequeno acréscimo e a da Austrália manteve-se praticamente inalterada. O maior crescimento mundial no ano de 1995 ocorreu na América Latina, cerca de 9%, destacando-se o Peru. A Ásia apresentou um crescimento de 6%, destacando-se o aumento da produção na Indonésia (cerca de 34%). O aumento de produção na África, excluindo a África do Sul, foi de 11%. A da Rússia apresentou um decréscimo de 6%.

A tabela 2.1 acima apresenta os principais países produtores de ouro, suas respectivas produções nos anos de 1994 e 1995. Pode-se observar que alguns dos principais países produtores conseguiram incrementar a produção em 1995, tais como: EUA, Canadá, China, Indonésia e Gana. Duas mudanças significativas na classificação dos países em 1995, em relação ao ano anterior, foram observadas: o Canadá ultrapassou a produção da Rússia e a Indonésia que saltou da décima colocação para a sétima posição, ultrapassando o Brasil.

2.3. Produção de ouro no Brasil

O setor mineral brasileiro parece estar no início da fase mais promissora e produtiva da sua história atual. Os principais fatos que justificam tal afirmativa incluem a superação de alguns dos principais desafios do País, tais como a estabilização e abertura da economia, a eliminação das reservas ao capital estrangeiro e a significativa redução do Imposto de Renda das empresas, aliado ao crescimento da demanda mundial por metais, à vasta riqueza mineral do Brasil e ao grande potencial para novas descobertas importantes (4).

Até o final de 1998, são esperados investimentos externos da ordem de US\$ 2,5 bilhões, em mineração no Brasil, conforme levantamentos realizados em janeiro/96 pelo BNDES. Os planos do governo são de ampliar a produção do metal para 120 t até 2001, contra as 67,4 t que saíram das minas brasileiras em 1995, volume que garantiu ao País a 8ª posição entre os maiores produtores mundiais de ouro.

3. Considerações sobre o Beneficiamento de Minérios Auríferos

Antes da definição das operações unitárias de beneficiamento de qualquer minério de ouro deve-se previamente efetuar uma caracterização tecnológica para o conhecimento dos principais aspectos, listados abaixo, que permitirão selecionar a melhor rota para o aproveitamento econômico:

- partículas de ouro totalmente liberadas ou não; caso não liberadas, o grau de liberação;
- o tamanho das partículas e a sua distribuição granulométrica;
- o teor do ouro contido no minério e dos principais minerais deletérios;
- as associações minerais em que ocorrem as partículas auríferas caso não haja apenas ouro livre;

Classificação dos minérios de ouro para a escolha da rota de beneficiamento:

a) não-refratários; b) refratários e c) oxidados.

A seguir são descritos os processos aplicáveis:

a) minérios não refratários: designa-se como não-refratários os minérios que apresentam recuperação metalúrgica maior que 80% quando submetidos à cianetação após moagem em granulometria aproximada de $80\% < 200\#$ (0,074mm) incorrendo em consumos normais de cianeto, entre 200 a 800 g/t. Os tipos de minérios não refratários são os de aluvião, “free-milling”, sulfetados, sulfetados com baixo teor de metais básicos e sulfetados com alto teor de metais básicos.

O minério tipo “free-milling” é aquele em que o ouro ocorre livre ou facilmente liberável e, também, relativamente grosso. A sua recuperação é maior do que 95% na cianetação, quando moídos a granulometria em torno de $80\% < 200\#$ (0,074mm) e apresentam baixo consumo de reagentes (5).

Taggart (6) discutindo a escolha dos processos de beneficiamento aplicáveis ao ouro estabelece, inicialmente, o princípio geral de que o ouro grosso deve ser tirado do circuito tão cedo e o mais rápido quanto possível.

Taggart estabelece oito rotas possíveis para o beneficiamento de minérios auríferos não-refratários e/ou oxidados:

1. *Só amalgamação;*
2. *Separação gravítica + amalgamação;*
3. *Amalgamação + concentração gravítica + cianetação;*
4. *Só cianetação;*
5. *Cianetação + concentração gravítica + cianetação do concentrado;*
6. *Flotação (+ concentração gravítica e/ou amalgamação) + cianetação do concentrado;*
7. *Flotação + cianetação do rejeito e*
8. *Flotação + concentração gravítica e/ou amalgamação.*

A concentração gravítica se constitui no passo inicial para a concentração do ouro, passando por uma etapa de flotação e finalmente a cianetação, precedida ou não de etapas de preparação do minério tais como a calcinação, ustulação, oxidação sob pressão e biooxidação, caso ele seja refratário.

b) minérios refratários: define-se minérios refratários aqueles que apresentam uma recuperação metalúrgica menor do que 80% quando submetidos à cianetação, moídos em granulometria aproximada de $80\% < 200\#$ (0,074mm) e alto consumo de reagentes.

Os minérios refratários e concentrados antes de serem cianetados podem ser submetidos às seguintes etapas de pré-beneficiamento: pré-aeração, ustulação dos sulfetos, calcinação, oxidação química, oxidação sob pressão, bio-oxidação e cloração (5, 7).

c) minérios oxidados: lixiviação em pilha, lixiviação em montes e lixiviação em tanques sem agitação. Os minérios oxidados podem ser classificados em primários e secundários. Os primários são os derivados diretamente dos efeitos da alteração hidrotermal das rochas hospedeiras e secundários os minérios derivados dos efeitos da oxidação supergênica dos sulfetos associados às partículas de ouro (8).

4. Processos de Cianetação de Minérios Auríferos

Desde a sua descoberta, em 1890, o emprego da lixiviação de minérios auríferos com cianeto passou a ser a rota hidrometalúrgica convencional para extração desses elementos de minérios onde ocorrem finamente disseminados (9).

Existem vários processos para a cianetação de minérios auríferos, apresentados a seguir, em ordem decrescente de importância comercial:

1) lixiviação com agitação da polpa; 2) lixiviação em pilha e em monte (lixiviação sem agitação); 3) lixiviação intensiva; 4) lixiviação em tanques sem agitação da polpa e 5) lixiviação “in situ”.

A escolha desses, depende, primeiramente, da relação entre o tamanho da partícula de ouro e recuperação, custos de capital e de operação, e do tempo de extração em cada caso.

4.1. Cianetação com agitação da polpa

Consiste na lixiviação com solução de cianeto de sódio na concentração de 0,05% a 0,1%, pH entre 10 a 11, em tanques com agitação, de uma polpa aerada com cerca de 30 a 60 % de sólidos, contendo minério moído a granulometria menor $< 200 \mu$ (0,074 mm).

A cianetação é realizada em tanques de aço carbono e os sólidos são mantidos em suspensão com injeção de ar comprimido ou através de agitação mecânica. Recentemente, tem sido utilizada a agitação da polpa com ar comprimido em tanques de fundo cônico (tanques “Pachuca”), mas o aperfeiçoamento de agitadores mecânicos com alta eficiência e baixo consumo de energia são os preferidos.

4.2. Lixiviação em pilha (“Heap Leaching” - HL)

A HL consiste na formação de uma pilha de minério oxidado de ouro, sobre pátio impermeabilizado, onde se faz percolar uma solução cianetada com pH em torno de 10,5, controlado pela adição de cal ou hidróxido de sódio. A solução percolada é recolhida em

um “pond” e bombeada a seguir para a usina onde será recuperado o metal (10). A impermeabilização do pátio é para evitar a perda de solução contendo ouro e cianeto, a contaminação do lençol e de, áreas e águas adjacentes. Existem uma série de variedades e formas de impermeabilização de pátios, canaletas e “ponds” que poderão ser consultadas (11).

É um método de baixo custo, adequado ao tratamento de minérios oxidados de baixo teor que não justifiquem altos custos de moagem e de cianetação com agitação. Geralmente o ciclo de lixiviação varia de 2 a 6 meses e a extração do ouro de 50-85%.

Nem todos os minérios de ouro e prata são propícios à cianetação pelo processo de lixiviação em pilha (12).

É importante ressaltar que após a dessorção do ouro contido no carvão ativado o metal poderá ser recuperado pelo processo Merrill-Crowe.

4.2.1. Lixiviação em monte (“Dump Leaching”)

Consiste na lixiviação do minério sem o preparo prévio requerido para a lixiviação em pilha, cominuição e/ou aglomeração, sobre pátios impermeabilizados.

A escolha do processo, lixiviação em monte ou em pilha, em que o minério será tratado depende do teor e da tonelagem e também da permeabilidade que é um fator crítico. Sem permeabilidade adequada, não haverá percolação, dissolução e recuperação do ouro economicamente aceitável. A permeabilidade pobre exclui a utilização da lixiviação em monte, que é de mais baixo custo do que a lixiviação em pilha (13).

4.3. Cianetação intensiva

O processo de cianetação intensiva opera com alta concentração de reagentes, principalmente cianeto e oxigênio, e muitas vezes com temperatura e/ou pressão elevada, para aumentar a taxa de solubilização do ouro. Ele é aplicado a minérios de alto teor que justificam um aumento no custo de beneficiamento para obter uma alta taxa de recuperação do metal. Tais materiais incluem concentrados gravíticos e de flotação que não são passíveis de beneficiamento pela cianetação convencional.

O método tem sido aplicado no tratamento de alguns concentrados gravíticos.

4.4. Lixiviação em tanques sem agitação (“Vat Leaching”)

Tem sido empregada com sucesso em minérios oxidados de cobre para gerar diretamente uma solução de cobre, carregada o suficiente para a recuperação por eletrodeposição (14).

A lixiviação em tanques sem agitação é por definição, a submersão do minério, britado e peneirado em granulometria entre 0,25 a 0,5 polegada (6 a 12 mm), numa solução com cianeto em grandes tanques “ponds” que acomodam milhares de toneladas. O objetivo deste processo é de reduzir o tempo de lixiviação, aumentar a extração e a concentração de ouro na solução carregada em relação à lixiviação em pilha (15).

Os controles de processo, teor de cianeto, pH, tempo de cura do minério, são iguais aos da lixiviação em pilha. Somente o tempo de lixiviação é bem inferior, de 4 a 6 dias, quando utilizado o processo de cura, pois há evidências experimentais de que cerca de 90% do ouro recuperado é solubilizado durante esse processo de cura (16).

4.5. Lixiviação “in situ”

Consiste em tratar o minério onde se encontra, sem retirá-lo da mina. Aplica-se a depósitos antigos já minerados, jazidas de baixo teor ou mesmo zonas marginais das minas, que apresentam teores muito baixos para serem processados pelas técnicas convencionais de lixiviação, utilizadas para o corpo principal do jazimento. Até o momento, a técnica tem sido utilizada para o tratamento de minérios de urânio e de cobre de baixo teor (13). Por outro lado, não há um simples emprego comercial da lixiviação “in situ” que mereça crédito e aceitação na lixiviação de metais preciosos (17, 18).

O período para a recuperação dos metais de interesse está na escala de anos, alcançando-se em geral até 60% de extração.

5. Processos de Recuperação do Ouro Cianetado

Após a solubilização do ouro contido no minério é necessária a sua recuperação da solução para a obtenção do metal fundido (“bullion”).

Define-se, neste capítulo, como recuperação de ouro os procedimentos necessários à concentração do ouro contido em soluções diluídas (1-20 g Au/t) para a obtenção de soluções concentradas ou precipitados impuros de ouro (19).

O ouro é extraído da solução com a utilização de carvão ativado; resinas de troca iônica; flotação seletiva; precipitação com zinco, alumínio ou carvão em pó; ou extração com solvente. A solução ou o precipitado rico obtido é submetido às etapas de eletro-recuperação seguida de fundição ou fundição direta do precipitado.

A seguir são citados os principais processos de recuperação:

Merrill-Crowe; carbon in pulp (CIP); carbon in leaching (CIL); carbon in leach com oxigênio (CILO); carbon in column (CIC); resin in pulp (RIP); resin in solution (RIS) e flotação iônica dos complexos auro-cianeto.

Ver fluxograma de processos de cianetação e recuperação de ouro, figura 5.1 à página 12.

5.1. Merrill-Crowe

Neste processo, após a cianetação do ouro, é feita a separação líquido/sólido da polpa através de filtração com lavagem do resíduo. O licor contendo ouro e prata solubilizados segue para a etapa de clarificação e de-aeração, para a posterior adição do pó de zinco para a precipitação do ouro e da prata.

O processo Merrill-Crowe é aplicado a todos os minérios indicados para a rota cianeto e aqueles com elevado teor de prata, onde o processo CIP, descrito a seguir, se torna inviável em função do alto consumo de carvão ativado. É um processo altamente eficiente, com recuperação de 99,5% do ouro contido na solução (19).

5.2. Carbon in pulp (CIP)

Compreende o uso de carvão ativado no tratamento da polpa contendo metais preciosos dissolvidos e fornece uma alternativa aos processos convencionais de recuperação do ouro utilizando filtração ou decantação em contra-corrente, associado com o processo Merrill-Crowe. A aplicação comercial do processo CIP na tecnologia do beneficiamento do ouro data de 1973 e é o primeiro processo de recuperação do ouro em relação à tonelagem produzida (20).

Em 1952, Zadra, do United States Bureau of Mines Research Center, Reno, Nevada, divulgou a técnica do uso de solução de hidróxido e cianeto de sódio, a quente, para a dessorção do ouro e da prata contidos no carvão carregado, que se mostrou efetiva para ambos.

Este processo consiste na adição direta do carvão ativado à polpa cianetada contida em tanques agitados. O carvão ativado adsorve o ouro solubilizado e após, é separado da polpa, por peneiramento a úmido. A granulometria ideal do minério é de 60 a 90% < 200 # (0,074 mm), que é a mesma da etapa de cianetação.

O processo CIP é aplicado aos minérios passíveis de beneficiamento pelo processo Merrill-Crowe, nas mesmas condições de % sólidos da polpa, aeração e pH, exceto quando o teor de prata é elevado.

5.3. Carbon in leaching (CIL)

Esse processo é bastante semelhante ao CIP. As diferenças residem nas etapas de cianetação e de adsorção do ouro solubilizado que são feitas simultaneamente, ou seja, ao mesmo tempo em que a cianetação é iniciada, o carvão ativado previamente adicionado à polpa inicia a adsorção. O processo CIL é empregado em minérios que apresentam baixo teor de matéria carbonosa ativa. Quando o minério contém matéria carbonosa, ela adsorve o ouro cianetado resultando em perdas na recuperação global. Entretanto, é citado na literatura que o ouro em solução é adsorvido preferencialmente pelo carvão ativado, o que reduz a perda de ouro na matéria carbonosa contida no minério (21).

5.4. Carbon in column (CIC)

É aplicado para a adsorção do ouro na solução diluída, carregada, proveniente da lixiviação em pilha. Sua utilização é muito semelhante à dos processos CIP e CIL e a diferença é que somente a lixívia contendo ouro solubilizado passa através da coluna contendo carvão ativado (22).

5.5. Resin in pulp (RIP)

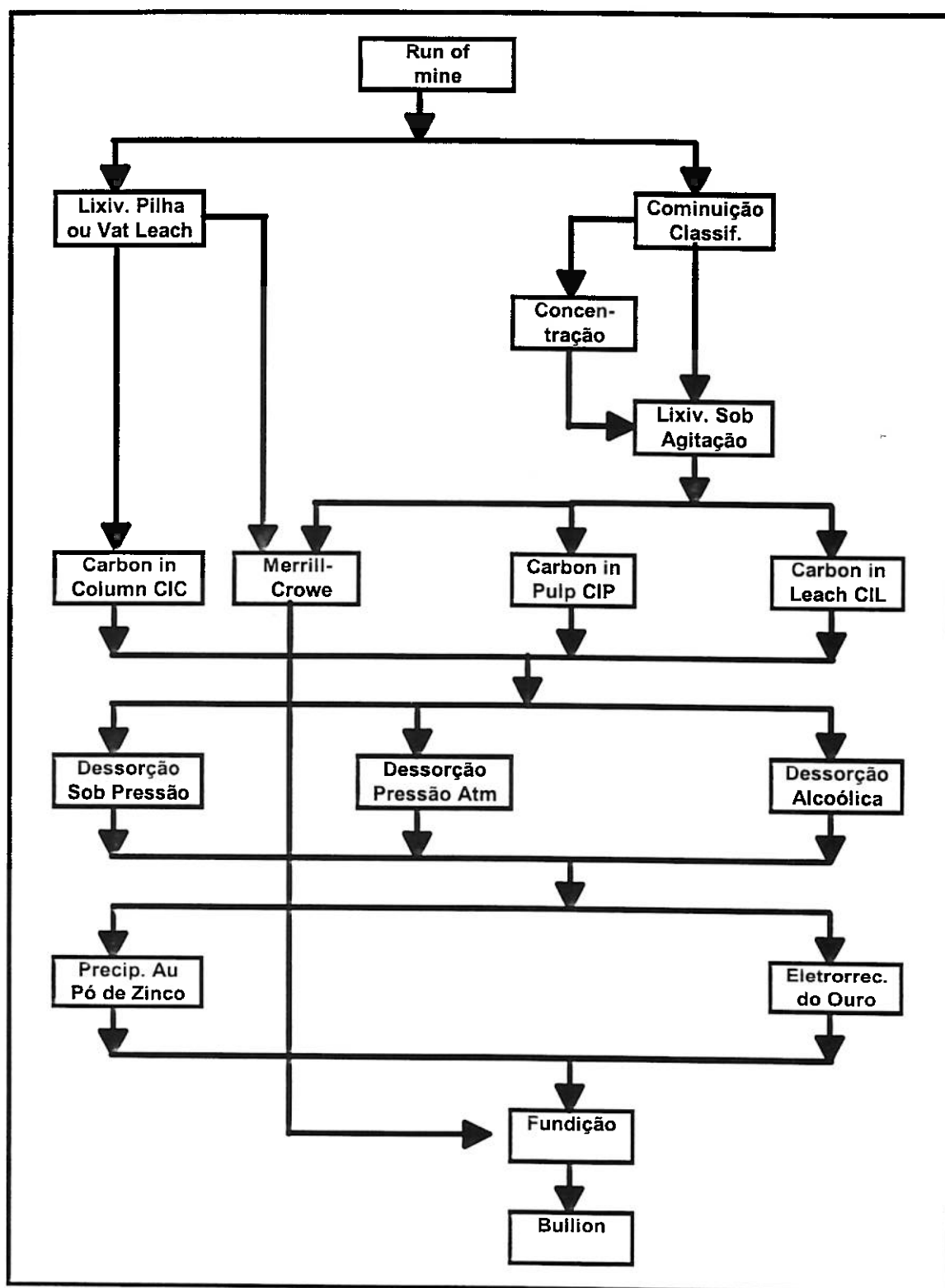
O uso de resinas de troca iônica para a concentração e purificação do ouro de soluções cianídricas diluídas está sendo investigado desde o final da década de 1940. Na Rússia, foi instalada e entrou em operação, a primeira usina com o processo RIP na cidade de Muruntau, oeste do Uzbequistão, desde a década de 1970.

Esse processo é uma técnica emergente, com substituição do carvão ativado por resinas de troca iônica (23). É um processo alternativo ao CIP, desenvolvido pelo Council for Mineral Technology (Mintek), visando a extração do ouro solubilizado com a utilização de resina de troca iônica em substituição ao carvão ativado.

5.6. Flotação iônica dos complexos auro-cianeto

Este novo processo de recuperação de ouro baseado na flotação iônica dos complexos auro-cianeto foi primeiramente descrito por Sebba (1959,1962) (24). O licor contendo complexos auro-cianeto é alimentado na célula de flotação e agitado com a utilização de ar comprimido. O reagente surfactante adicionado ao licor adsorve na superfície das bolhas de ar, provocando interação dos íons e promovendo um mecanismo de coleta seletiva dos complexos auro-cianeto. As espécies adsorvidas seletivamente encontram-se na forma de uma espuma que é coletada. O concentrado obtido segue diretamente para a eletrólise a fim de retirar o ouro e o eletrólito utilizado é retornado às células de flotação, como reagente recirculado.

Figura 5-1- Fluxograma de processos de cianetação e de recuperação do Au



Fonte: Adaptado de MARSDEN J. e HOUSE I. (25).

6. Beneficiamento de Minérios Refratários à Cianetação

A produção mundial de ouro a partir de minérios refratários tem crescido, igualmente, ocorre com o desenvolvimento de novas tecnologias para o tratamento destes. A escolha da melhor opção do beneficiamento de minérios refratários depende de vários fatores, incluindo o teor de ouro da alimentação e a causa da refratariedade do minério (26).

O diagnóstico de lixiviação (“diagnostic leaching”) é uma das técnicas desenvolvidas, que consiste numa série de lixiviações do minério, em ordem crescente de agressividade, intercaladas com estágios de cianetação do resíduo sólido lixiviado. Testes de “diagnostic leaching” são utilizados para melhor conhecimento da refratariedade do minério e da cinética de solubilização do ouro pelo cianeto; permitindo estudos mais detalhados destas reações.

Minérios de ouro refratários à cianetação comumente contém partículas de ouro livre, submicroscópico, associadas/inclusas a sulfetos de metais básicos (pirita, pirrotita, arsenopirita), teluretos e matéria carbonosa.

A destruição seletiva de vários minerais com lixiviação ácida oxidativa destrói e/ou decompõe certos minerais que podem formar filmes na superfície da partícula de ouro pela precipitação (27).

A tabela 6.1 apresenta os vários estágios de pré-tratamento e os minerais que podem solubilizar, seguidos da cianetação do ouro. É importante ressaltar que não existe uma metodologia padronizada para tratar todos os tipos de minérios complexos, e pode variar de acordo com a mineralogia do minério.

Tabela 6-1 - Estágios de “diagnostic leaching” e minerais solubilizados.

Estágio do Pré-tratamento	Minerais Solubilizados
1. NaCN (24 horas)	ouro livre
2. HCl	pirrotita, calcita, ferrita, dolomita, galena, hematita, goetita e carbonato de cálcio.
3. H ₂ SO ₄	uraninita, esfarelita, sulfetos de cobre, sulfetos de metais básicos e pirita.
4. HNO ₃	pirita, arsenopirita e marcassita.
5. FeCl ₃	esfalerita, galena, sulfetos e tetraedrita.
6. Ácido Oxálico	filmes de óxidos
7. Acetonitrila ou ustulação	ouro adsorvido na matéria carbonosa ou volatilização da matéria carbonosa

Fonte: Adaptado de LORENZEN L. e VAN DEVENTER (64).

Nota: Todos os estágios de pré-tratamento acima mencionados podem ser modificados de acordo com a matriz do minério.

Os testes de “diagnostic leaching” se aplicam aos minérios:

- primários de ouro contendo: sulfetos; matéria carbonosa; matéria carbonosa e sulfetos; silicatos; matéria carbonosa, silicatos e sulfetos; e para a separação específica de minerais polimetálicos (zinco, chumbo, cobre, pirita, arsenopirita);
- contendo ouro recuperável como sub-produto: minerais polimetálicos e sulfetos (especialmente minérios de cobre);
- em usinas existentes, onde se pode aplicar algumas das possibilidades citadas.

7. Conclusões

O Autor mostrou no decorrer da apresentação do trabalho que a cianetação tem evoluído ao longo do século, acentuando-se a partir da década de 70 até nossos dias. Em 1973 teve início a aplicação industrial dos processos de regeneração do carvão ativado e a eletro-recuperação do ouro a partir de soluções bastante diluídas. Estimativas feitas em 1990, indicaram que a cianetação é responsável por 81% da produção mundial de ouro (19¹⁹ ~~34~~). Isso evidencia que a cianetação continuará a ser a rota preferida na produção do ouro por um bom tempo. Têm-se estudado muito mais o aprimoramento das técnicas de pré-tratamento à cianetação do que alternativas à sua substituição.

A introdução do uso do carvão ativado para a recuperação do ouro fez com que a maioria das usinas estabelecidas no mundo passassem a utilizá-lo, em detrimento do processo Merrill-Crowe, exceto em casos em que seja inviável economicamente, por exemplo, minério com alto teor de prata. Apesar deste avanço, novas pesquisas têm sido realizadas com resinas de troca iônica.

Na área ambiental observa-se a tendência de utilizar a combinação de vários métodos de remoção e/ou neutralização do cianeto residual, a fim de torná-los mais eficientes e econômicos. Por outro lado, há uma melhor monitoração das usinas quanto a utilização do cianeto, aplicando o extritamente necessário ao processo. Estuda-se formas de re-aproveitar o cianeto nas soluções a serem descartadas ao invés de destruí-lo, onde a flotação iônica e o processo AVR têm merecido destaque.

Os testes de “diagnostic leaching” associados a determinação tradicional da mineralogia do minério constituem uma poderosa ferramenta reduzindo sua quantidade, economizando tempo e dinheiro.

O Brasil, possui grande potencial e ambiente geológico privilegiado para a descoberta de novas jazidas de ouro, principalmente nas regiões centro-oeste e amazônica, com planos de produzir 120 t/ano, até o ano de 2001. Segundo estimativas de 1996, realizadas pelo BNDES, são esperados investimentos externos da ordem de US\$ 2,5 bilhões, em mineração no Brasil, até o final do ano de 1998.

8. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

1. ALVES, F. e BRITO, O. Revista Brasil Mineral. *CPRM divulga mapa do ouro no Brasil*. São Paulo: Junho, 1996. Rev. nº 141, Ano XIII, pp. 14-18.
2. MARON, M. A. C. Revista Brasil Mineral. *A Indústria de extração de ouro no Brasil*. São Paulo: 1994. Rev. nº 113, pp. 36-38.
3. MURRAY, S., WALKER, P., KLAPWIJK, P. e SUTTON-PRATT, T. Gold 1996, Gold Fields Mineral Services Ltd. *Mine supply*. Londres: 1996. Pp. 16-17 e 23.
4. ARANTES, D. Revista Brasil Mineral. *O Potencial de ouro do Brasil - Uma investigação empírica*. São Paulo: Junho 1996. Rev. nº 141, Ano XIII, pp. 20-31.
5. HORTA, R. M. Universidade de São Paulo-USP. Dissertação de Mestrado, *O Estado da Arte em Tratamento de Minérios de Ouro*. São Paulo: 1996. Pp. 15-18.
6. TAGGART, A. F. *Handbook of Mineral Dressing*. N.Y: John Wiley & Sons, Inc., 1954. Pp. 2-74, 2-102.
7. PRASAD, M. S., MENSAH-BINEY, R. e PIZZARRO, R. S. Mineral Engineering. *Modern Trends in Gold Processing - Overview*. Great Britain: 1991. Vol. 4, nº 12, pp. 1257-1277.
8. HAUSEN, D. M., PETRUK, W. e HAGNI, R. D. Global Exploitation of Heap Leachable Gold Deposits. *Basic Concepts of Oxide Gold Deposits and the Role of Mineralogy*. Orlando: Fev. 9 a 13, 1997. P. 19.
9. RADINO, P. Recuperação de ouro de minérios auríferos por processos químicos- O estado da arte. *Lixiviação em pilha*. São Paulo: 1984. Pp. 468-470.
10. HEINEN, H. J., PETERSON, D. G., e LINDSTROM, R. E. Processing gold ores using heap leach-carbon adsorption methods. *Chemistry of cyanidation*. Washington, U. S.: Dept. of the Interior, Bureau of Mines, 1978. Information Circular IC-8770, pp. 2-4.
11. VAN ZYL, D., COSTA, R. S. e MILLER S. H. *Controlling Effluent from Heap Leach Facilities*. 9º Simpósio Internacional do Ouro, Hotel Glória. Rio de Janeiro: 12 e 13 de Agosto/1996.
12. CLEM, B. M. Engineering and Mining Journal. *Heap leaching of ores with gold and silver*. Abril, 1982.

13. GRANATO, M. *Metalurgia Extrativa do Ouro*. Série Tecnologia Mineral, nº 37, Seção de Metalurgia Extrativa nº 14. Brasília: CETEM/CNPq, 1986. P. 79.
14. YANNOPOULOS, J. C. The extractive metallurgy of gold. *Leaching Low-grade gold ores*. N. Y.: 1991. Pp. 133-135 e 185-239.
15. COPE, W. L. *Vat Leaching: Historic gold processing technique again viable*. Mining Engineering, pp. 1131-1133. Setembro, 1991.
16. GRANATO, M. *Metalurgia Extrativa do Ouro*. Série Tecnologia Mineral, nº 37, Seção de Metalurgia Extrativa nº 14. Brasília: CETEM/CNPq, 1986. P. 79.
17. CHAMBERLIN, P. D. *Status of Heap, Dump, and in Situ Leaching of Gold and Silver*. Littleton, Colorado: Chamberlin & Associates, 1989. Capítulo 26, pp. 225-232, World Gold.
18. CANNING, R.G. e WOODCOCK, J. T. *Innovations and Problems in Gold Recovery from Ores and Mineral Products*. The Aus. I.M.M. Conference. Melbourne: Vic., August 1982. Pp. 365-381.
19. MARSDEN, J. e HOUSE, I. The Chemistry of Gold Extraction. *Leaching, Solution Purification and Concentration, Recovery*. England: Ellis Horwood Limited, 1993. Capítulo 6-8, pp74, 309-422, 508-566.
20. LAZOWSKI, M. *On Some Properties of Carbon*. Chem. Gaz, Vol. 6, p. 43, 1948.
21. NEWRICK, G. M. e WOODHOUSE, G. *Carbon in pulp Versus Carbon in leach*. World Mining: June/1983. Pp. 48-51.
22. CIMINELLI, V. S. T. e SALUM, M. J. G. Extração de Ouro: fundamentos, prática e meio ambiente. *Recuperação de Ouro a partir de Soluções Cianetadas com a Utilização de Carvão Ativado*. Anais do III Encontro do Hemisfério Sul Sobre Tecnologia Mineral/XV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia. São Lourenço, MG: 13-16, Setembro, 1992. Pp. 112-131,
23. KAHN, H., TASSINARI, M. M. M. L. e CASSOLA, M. S. *Metodologias de Caracterização de Minérios Auríferos*. São Paulo: pp.421-450.
24. GALVIN, K. P., ENGEL, M. D. e NICOL, S. K. *The Potencial for Reagent Recycle in the Ion Flotation of Gold Cyanide - a Pilot Scale Field Trial*. International Journal of Mineral Processing, Austrália: Elsevier Science B., March, 1994. V. nº 42, pp. 75-98.
25. MARSDEN, J. e HOUSE, I. The Chemistry of Gold Extraction. *Process Selection*. England: Ellis Horwood Limited, 1993. Pp. 97-136.

26. MALHOTRA, D. e ARMSTRONG, S. E. *Diagnostic Leaching Applications for Refractory Gold Ores*. Randol Gold Forum '96, USA, 1996, pp. 299-302.
27. LORENZEN, L. e VAN DEVENTER, J. S. J. *The Mechanism of Leaching of Gold from Refractory Ores*. Minerals Engineering, Great Britain: Elsevier Science Ltd., 1992. V. 5, n° 10-12, pp. 1377-1387.

9. LISTA DE TABELAS

TABELA 2-1 - PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES DE OURO (ANO DE 1995)	2
TABELA 6-1 - ESTÁGIOS DE “DIAGNOSTIC LEACHING” E MINERAIS SOLUBILIZADOS.....	14

10. LISTA DE FIGURAS

FIGURA 5-1- FLUXOGRAMA DE PROCESSOS DE CIANETAÇÃO E DE RECUPERAÇÃO DO AU.....	12
---	----

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

BT/PMI/001 - Características Geométricas da Escavação Mecânica em Mineração: Exemplo de Escavadora de Caçamba de Arraste - ANTONIO STELLIN JUNIOR

BT/PMI/002 - Prospecção Geoquímica Experimental na Ocorrência de Ouro Tapera Grande - PAULO BELJAVSKIS, HELMUT BORN

BT/PMI/003 - Estudo de Processo de Dupla Flotação visando o Beneficiamento do Minério Carbonático de Fosfato de Jacupiranga - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/004 - Desenvolvimento de um Equipamento Não-Convencional em Beneficiamento Mineral: A Célula Serrana de Flotação Pneumática - RICARDO NEVES DE OLIVEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/005 - Ajuste de Modelos Empíricos de Operação de Ciclones - HOMERO DELBONI JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/006 - Contribuição ao Estudo dos Explosivos Permissíveis - AMILTON DOS SANTOS ALMEIDA, WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/007 - Contribuição ao Dimensionamento de Pilares em Minas Subterrâneas de Manganês - LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA, ANTONIO STELLIN JUNIOR

BT/PMI/008 - Exploração Mineral: Conceitos e Papel do Estado - LUIZ AUGUSTO MILANI MARTINS, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/009 - Otimização do Projeto de Pátios de Homogeneização através do Método da Simulação Condicional - FLAVIO MOREIRA FERREIRA, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/010 - Considerações Gerais sobre Desmonte de Rocha: Análise de Custo - Índice de Produtividade e Otimização da Malha de Perfuração - MARCO ANTONIO REZENDE SILVA, FERNANDO AMOS SIRIANI

BT/PMI/011 - Aglomeração de Rejeitos de Fabricação de Brita para sua Reciclagem - ARTHUR PINTO CHAVES, BRADDLEY PAUL

BT/PMI/012 - Método de Dimensionamento de Peneiras para a Classificação Granulométrica de Rochas ou Minérios - FERNANDO AMOS SIRIANI

BT/PMI/013 - Processo de Beneficiamento para Obtenção de uma Carga Mineral Nobre a partir do Fosfogesso - WALTER VALERY JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/014 - Estudo da Carboxi-Metil-Celulose como Aglomerante para Pelotização - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/015 - A Influência do Amido de Milho na Eficiência de Separação Apatita/Minerais de Ganga Via Processo Serrana - LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/016 - Beneficiamento de Criolita Natural - Estado da Arte - HENRIQUE KAHN, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/017 - Estudo da Variação do Índice Energético Específico - W, segundo a Granulometria do Ensaio, Obtida através de um Moinho de Bolas Padrão, em Circuito Fechado - MARIO SHIRO YAMAMOTO, FERNANDO AMOS SIRIANI

BT/PMI/018 - Fluorita - FERNANDO FUJIMURA, WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/019 - O Aproveitamento de Recursos Minerais: Uma Proposta de Abordagem a Nível Nacional - CELSO PINTO FERRAZ, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/020 - Comparação de duas Metodologias - A de Bieniawski e a de Panek, para Dimensionamento de Tirantes em Galerias Subterrâneas de Seção Retangular em Camadas Estratificadas - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA

BT/PMI/021 - Caracterização de Maços Rochosos através de Envolvimentos de Resistência por Tratamento Estatístico utilizando Dados de Laboratório do IPT Simulando Condições Geotécnicas do Maço - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/022 - Avaliação de Impactos Ambientais na Mineração de Combustíveis Fósseis Sólidos - GILDA CARNEIRO FERREIRA, ANTONIO STELLIN JUNIOR

BT/PMI/023 - O Lado Nocivo do Elemento Quartzo no Desgaste Abrasivo de Mandíbula de Britadores - FERNANDO FUJIMURA

BT/PMI/024 - Conceitos Básicos de Iluminação de Minas Subterrâneas - SÉRGIO MEDICI DE ESTON, WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/025 - Sistema Computadorizado para Ajuste de Balanço de Massas e Metalúrgico - ANTONIO CARLOS NUNES, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/026 - Caracterização Mineralógica/Tecnológica das Apatitas de alguns Depósitos Brasileiros de Fosfato - SARA LAIS RAHAL LENHARO, HELMUT BORN

BT/PMI/027 - Classificação de Maciços quanto à Escarificabilidade - GUILHERME DE REZENDE TAMMERIK, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO, LINDOLFO SOARES

BT/PMI/028 - Análise Comparativa de Métodos de Amostragem de Depósitos Auríferos - FÁBIO AUGUSTO DA SILVA SALVADOR, HELMUT BORN

BT/PMI/029 - Avaliação da Qualidade de Corpos Moedores para o Minério Fosfático de Tapira - MG - GERALDO DA SILVA MAIA, JOSÉ RENATO B. DE LIMA

BT/PMI/030 - Contribuição ao Estudo da Cominuição Inicial à Partir da Malha de Perfuração - MARCO ANTONIO REZENDE SILVA, WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/031 - Análises Químicas na Engenharia Mineral - GIULIANA RATTI, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/032 - Usos Industriais da Atapulga de Guadalupe (PI) - SALVADOR LUIZ MATOS DE ALMEIDA, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/033 - Minerais Associados às Apatitas: Análise de sua Influência na Produção de Ácido Fosfórico e Fertilizantes Fosfatados - ROBERTO MATTIOLI SILVA, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES

BT/PMI/034 - Beneficiamento dos Caulins do Rio Capim e do Jari - ADÃO BENVINDO DA LUZ, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/035 - Dimensionamento de Suportes em Vias Subterrâneas - LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA, WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/036 - Estudos da Modelagem Matemática da Moagem com Seixos para Talco de Diversas Procedências - MARIO VALENTE POSSA, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA

BT/PMI/037 - Mecânica de Rochas Aplicada ao Dimensionamento do Sistema de Atirantamento em Minas Subterrâneas - LEONCIO TEÓFILO CARNERO CARNERO

BT/PMI/038 - Geometria de Minas a Céu Aberto: Fator Crítico de Sucesso da Indústria Mineral - FÁBIO JOSÉ PRATI, ANTÔNIO JOSÉ NAGLE

BT/PMI/039 - Substituição do Aço por Polímero e Compósitos na Indústria Automobilística do Brasil: Determinantes e Consequências para o Mercado de Minério de Ferro - WILSON TRIGUEIRO DE SOUSA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO, ANTONIO JOSÉ NAGLE

BT/PMI/040 - Aplicação de uma Metodologia que Simule em Moinho de Laboratório Operações Contínuas de Moagem com Seixos para Talco - REGINA COELI CASSERES CARRISSO, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA

BT/PMI/041 - A Indústria Extrativa de Rochas Ornamentais no Ceará - FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL, ANTONIO STELLIN JÚNIOR

BT/PMI/042 - A Produção de Fosfato no Brasil: Uma Apreciação Histórica das Condicionantes Envolvidas - GILDO DE A. DE SÁ C. DE ALBUQUERQUE, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/043 - Flotação em Coluna - Estado de Arte - JULIO CESAR GUEDES CORREIA, LAURINDO SALLES LEAL FILHO

BT/PMI/044 - Purificação de Talco do Paraná por Flotação e Alveamento Químico - IVAN FALCÃO PONTES, LAURINDO SALLES LEAL FILHO

BT/PMI/045 - Pequena Empresa - A Base para o Desenvolvimento da Mineração - GILSON EZEQUIEL FERREIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/046 - Máquinas de Flotação - ROGÉRIO CONTATO GUIMARÃES, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES

BT/PMI/047 - Aspectos Tecnológicos do Beneficiamento do Carvão de Candiota (RS) - ANTONIO RODRIGUES DE CAMPOS, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/048 - Efeito das Dimensões de Provetas no Dimensionamento de Espessadores - ELDON AZEVEDO MASINI, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/049 - Água no Processamento Mineral - RODICA MARIA TEODORESCU SCARLAT, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/050 - Drenagens Ácidas do Estéril Piritoso da Mina de Urânio de Poços de Caldas: Interpretação e Implicações Ambientais - VICENTE PAULO DE SOUZA, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ

BT/PMI/051 - "Caracterização Tecnológica de Minérios Auríferos. Um Estudo de Caso: O Minério Primário da Jazida de Salamangone, AP." - MARIA MANUELA MAIA LÉ TASSINARI, HENRIQUE KAHN

BT/PMI/052 - Ensino de Engenharia de Minas - WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/053 - Redistribuição de Tensões e Desenvolvimento da Zona Clástica em Túneis Circulares - FERNANDO FUJIMURA

BT/PMI/054 - Projeto de Barragem para Reservação de Mistos de Minerais Pesados Rejeitados pelo Beneficiamento de Cassiterita na Mina do Pitinga - MARCELO PIMENTEL DE CARVALHO, EDER DE SILVIO, LINDOLFO DE SILVIO

BT/PMI/055 - A Segurança e a Organização do Trabalho em uma Mineração Subterrânea de Carvão da Região de Criciúma - Santa Catarina - DORIVAL BARREIROS, WILDOR THEODORO HENNIES

BT/PMI/056 - Diagnóstico de Lixiviação para Minérios de Ouro - VANESSA DE MACEDO TORRES, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/057 - O Estado da Arte em Tratamento de Minérios de Ouro - RONALDO DE MOREIRA HORTA, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/058 - Vias Subterrâneas em Rocha - Escavação por Explosivos - WILDOR THEODORO HENNIES, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA

BT/PMI/059 - Aumento da Seletividade na Separação da Fluorita/Calcita/Barita/Apatita por Flotação. Jazida de Mato Preto - PR - MONICA SPECK CASSOLA, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMC/060 - Desenvolvimento de Processo para Extração de Gálio do Licor de Bayer por Resinas de Troca-Iônica de Poli (Acrilamidoxima) - WALDEMAR AVRITSCHER, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO

BT/PMI/061 - Estudo de Aspectos Geomecânicos Aplicados ao Projeto de Minas Subterrâneas - EDUARDO CÉSAR SANSONE, LINEU A. AYRES DA SILVA

BT/PMI/062 - Avaliação da Recuperação de Áreas Degradadas por Mineração na Região Metropolitana de São Paulo - OMAR YAZBEK BITAR, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/063 - Avaliação Técnica dos Processos de Cianetação/Adsorção da Mina de Fazenda Brasileiro - ÁUREA MARIA DIAS, ARTHUR PINTO CHAVES

BT/PMI/064 - A Nova Configuração da Indústria de Fertilizantes Fosfatados no Brasil - YARA KULAIF, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/065 - Estudos de Flotação em Coluna com Finos de Fosfato da Ultrafertil em Escala Piloto - JOSÉ PEDRO DO NASCIMENTO, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO

BT/PMI/066 - Flotação da Apatita da Jazida de Tapira - MG - LUIZ A. F. BARROS, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO- LUIZ A. F. BARROS, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO

BT/PMI/067 - Minerais Industriais: Conceituação, Importância e Inserção na Economia - FRANCISCO REGO CHAVES FERNANDES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

BT/PMI/068 - Atividades Micro-Sísmicas e a Ruptura de Rochas - FERNANDO FUJIMURA

BT/PMI/069 - Metodologia para Caracterização Tecnológica de Matérias Primas Minerais - LÍLIA MASCARENHAS SANT'AGOSTINO, HENRIQUE KAHN

BT/PMI/070 - Aplicação de Modelos Numéricos ao Projeto de Escavação por Explosivos de Túneis e Galerias - LUIZ CARLOS RUSILO, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA

